

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN GANADERO, EN EL SUR DE COLOMBIA**

**ANDERSON YESID HERNÁNDEZ DELGADO
EDIXON GERMÁN GÓMEZ GARCÍA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y SISTEMAS
AGROFORESTALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN GANADERO, EN EL SUR DE COLOMBIA.**

**ANDERSON YESID HERNÁNDEZ DELGADO
EDIXON GERMÁN GÓMEZ GARCÍA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de

INGENIERO AGROFORESTAL

Presidente:

JERSON ESTEBAN ROSERO MORÁN. I.AF. M. Sc.

Copresidente:

JORGE FERNANDO NAVIA ESTRADA I.A. PhD.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y SISTEMAS
AGROFORESTALES
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jerson Esteban Rosero Moran. I.AF. Ms.C.
Presidente

Jesús Castillo Franco. I.A. Ph.D.
Jurado

Hernán Burbano Orjuela I.A. Ph.D.
Jurado

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a Dios y Nuestras Familias por su apoyo durante toda nuestra carrera.

A Jerson Esteban Rosero, I.AF. M. Sc.. Presidente de Tesis.

A Fernando Navia Estrada, I.A, Ph.D. copresidente de Tesis.

A Héctor Ramiro Ordoñez, I.F. Ph.D. Por el gran interés mostrado en este trabajo.

Al Señor Francisco Santacruz, propietario de la finca “El Rincón” ubicada en la vereda Cruz de Amarillo del corregimiento de Catambuco por la colaboración prestada en la toma de muestras y permitir que este estudio se desarrolle en su finca.

A la Química. Margy del Castillo por la colaboración prestada en el trabajo de laboratorio.

A la Universidad de Nariño, a la Facultad de Ciencias Agrícolas, al Programa de Ingeniería Agroforestal y Laboratorios Especializados.

Y a todas las personas que de una y otra forma nos colaboraron y apoyaron en el desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios por la vida, por darme la fortaleza, sabiduría, entendimiento, y permitirme culminar un logro más.

A mi madre Adela García y mi padre Nabor Gómez, que con perseverancia y sacrificio, amor y dedicación me ayudaran a que mis sueños y mis metas se hagan realidad. Gracias por ser el motor que impulsa mi vida en cada momento y demostrarme siempre su amor.

A mis hermanos por su gran ejemplo como personas de bien, por ser mi base a seguir y luchar para ser un buen ejemplo como ellos.

A mis sobrinos, los cuales llenan de felicidad a nuestra familia.

A mis tíos y primos, que siempre me alentaron y apoyaron en este camino.

A mi amigo Anderson Hernández, por su disposición, apoyo y por la oportunidad de compartir este logro con éxito.

A mis amigos y compañeros, gracias por todos los momentos compartidos llenos de felicidad, por sus buenos consejos y ánimos.

A todos mis maestros, asesores, por todas sus enseñanzas y motivación, que Dios los bendiga, y les dé sabiduría, para que continúen con su ardua labor de seguir formando profesionales íntegros y llenos calidad humana.

Y en general a todas las personas que hicieron parte de este proceso.

Gracias, muchas gracias...

Edixon Germán Gómez García

“el éxito debe medirse no por la posición a que una persona ha llegado, sino, por su esfuerzo por triunfar”

Booker T. Washington.

A mi madre Rosa Libia Delgado que con esfuerzo, sacrificio, lucha y amor ha logrado que nuestros sueños y todas nuestras metas se cumplan. Dios la bendiga madre mía por todo siempre acompañarme y estar en los momentos más difíciles de mi vida. Agradezco a mi madre por enseñarme el valor del trabajo y la responsabilidad.

A mis abuelos María Guevara y Edgar Delgado, quienes con sus consejos y apoyo me ayudaron a salir adelante en esta etapa de mi vida.

A mi familia, tíos, tías, primos y primas quienes siempre me apoyaron en mi camino y en este maravilloso proceso, a pesar de las dificultades fueron una motivación en este cometido.

A mi compañero y amigo Edixon Germán Gómez García, quien mostro siempre responsabilidad y compromiso en este trabajo y en todo nuestro proceso académico.

A Érica Yasmin Salas, por todo su amor, apoyo y acompañamiento en todo mi proceso académico y personal.

A la memoria de Ramiro Ortega, quien desde el cielo me acompaña y me guía en todo el camino.

A mis compañero y amigos, por los momentos compartidos durante toda nuestra carrera.

A cada uno de nuestros docentes, que con sus conocimientos guiaron este proceso, para así lograr formar seres humanos integrales y ayudarnos a cumplir nuestra meta de ser ingenieros agroforestales.

Muchas gracias...

Anderson Yesid Hernández Delgado

Tabla de Contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1 Localización.	6
2.2 Diseño experimental.....	7
2.3 Muestreo de suelos.	8
2.5 Respiración del suelo	9
2.6 Medida de CO₂.....	10
2.7 Cuantificación de la biomasa microbiana.....	10
2.8 Análisis estadístico.....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
3.1 Respiración del suelo (medida de CO₂).....	11
3.2 Biomasa microbiana.....	14
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES	17
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

Lista de Tablas.

Tabla 1. Descripción diseño experimental utilizado.....	7
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas evaluadas y métodos utilizados.	9
Tabla 3. Análisis de varianza para respiración del suelo.....	11
Tabla 4. Prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción profundidad*uso del suelo en respiración microbiana.	12
Tabla 5. Análisis de varianza para biomasa microbiana.....	14
Tabla 6. Prueba de comparación de medias de Tukey para Interacción entre profundidad*uso.	14

Lista de Figuras.

Figura 1. Mapa de campo donde se observan los diferentes usos del suelo presentes en la finca. Fuente: Rosero J. (2018).....	7
---	---

Evaluación de la actividad microbiana en un sistema de producción ganadero, en el sur de Colombia

Evaluation of the microbial activity in a livestock production system, in the south of Colombia

Anderson Yesid Hernández¹; Edixon German Gómez²; Jerson Esteban Rosero³; Jorge Fernando Navia⁴

- 1 Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. anderhernandez5@gmail.com
- 2 Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. germangomezgarcia97@gmail.com
- 3 Ingeniero Agroforestal Msc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. jroseromoran@gmail.com
- 4 Profesor Asociado IA. PhD. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. jornavia@yahoo.com

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la actividad microbiana, se realizó un estudio comparativo entre tres usos del suelo: bosque, sistema silvopastoril y pasturas limpias, presentes en un sistema de producción ganadero, ubicado en el municipio de Pasto, sobre los 2.800 m.s.n.m. Para cada uso se determinó respiración y biomasa microbiana a 10 cm y 20 cm de profundidad mediante el método de cuantificación de CO₂ y el método de fumigación-extracción respectivamente. La respiración microbiana fue estadísticamente superior en el bosque a una profundidad de 10 cm (18,95 mg⁻¹CO₂/10g⁻¹ suelo) respecto al sistema silvopastoril a 20 cm el cual presentó los valores de respiración microbiana más bajos de la evaluación (0,72 mg⁻¹CO₂/10g⁻¹ suelo). La biomasa microbiana fue estadísticamente superior en el bosque a profundidad de 10 cm (1791,96 µg⁻¹C/10g⁻¹ suelo) en comparación al sistema silvopastoril a profundidad de 10 cm el cual presentó la menor biomasa microbiana (1177,20 µg⁻¹C/10g⁻¹ suelo). Los resultados sugieren que las condiciones del suelo en el bosque favorecen una mayor biomasa y respiración microbiana debido al mayor aporte de hojarasca, factor que favorece la humedad del suelo y el contenido de materia orgánica mejorando las condiciones de suelo para el desarrollo de microorganismos respecto a los sistema convencional y sistema silvopastoril.

Palabras claves: sistema silvopastoril, materia orgánica, respiración, carbono.

ABSTRACT

In order to evaluate the microbial activity, a comparative study was carried out between three uses of the forest floor, silvopastoral system and clean pastures present in a livestock production system, located in the municipality of Pasto, over 2,800 meters above sea level. For each use, respiration and microbial biomass were determined at 10 cm and 20 cm deep by the quantification of CO₂ method and the fumigation-extraction method respectively. Microbial respiration was statistically superior in the Forest at depth of 10 cm (18.95 mg CO₂ / 10 g of soil) compared to the silvopastoral system at depth of 20 cm which statistically presented the lowest microbial respiration (0.72 mg CO₂ / 10 g) of soil). The microbial biomass was statistically higher in the Forest at depth of 10 cm (1791.96 µg C / 10g of soil), compared to the silvopastoral system at a depth of 10 cm which statistically had the lowest microbial biomass (1177.20 µg C / 10g of soil). The results suggest that soil conditions in the forest favor greater biomass and microbial respiration due to the greater contribution of litter, a factor that favors soil moisture and organic matter content by improving the optimal soil conditions for the development of microorganisms in comparison of the conventional system and the silvopastoral system.

Key words: silvopastoral system, organic matter, soil, livestock system.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es la sección de la corteza terrestre biológicamente activa, es un cuerpo natural formado a partir de minerales y material orgánico que sustenta la vida de organismos vivientes como insectos, plantas, animales y microorganismos (Baker & Saxton, 2008).

El suelo se compone de tres fases, sólidos, líquidos y gases, donde la mayor parte del suelo se encuentra en fase sólida, constituido por minerales, organismos biológicos vivos y en estado de descomposición química, también el suelo está constituido biológicamente por macro fauna, meso fauna y micro fauna, entre la cual se destacan hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices; estos organismos son el principal agente del ciclo de los nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo, la retención del carbono y la emisión de gases de efecto invernadero, modifican la estructura del suelo y los regímenes del agua, mejorando la cantidad y eficacia de la adquisición de nutrientes de la vegetación y la salud de las plantas (Wright & Islam , 2006).

Es así como la diversidad de la biota edáfica en general y de los microorganismos del suelo en particular, se relacionan con su capacidad productiva, el uso eficiente de agua y los nutrientes (Thrupp, 2000). Adicionalmente, el mantenimiento de una alta biodiversidad puede conferir resistencia y resiliencia favoreciendo la sustentabilidad de los ecosistemas (Brussaard *et al.*, 2007 y Folke, 2004), este tipo de organismos presentes en el suelo confieren características químicas, físicas y biológicas de un suelo particular mejorando la fertilidad y la vida de las plantas que en el habitan (Fernández *et al.*, 2006).

Sin embargo, Zárate y Ramírez (2004), asegura que estas propiedades se ven afectadas por la degradación de los suelos, la cual se define como la pérdida de productividad natural, destrucción de ecosistemas pertenecientes al suelo y disminución del potencial de los servicios eco sistémicos en estas áreas.

Por su parte, Lozano *et al.*, (2002) plantean que las principales causas de degradación son la mecanización de los suelos y el sobrepastoreo intensivo, factores que favorecen la compactación del suelo, pérdida de porosidad y la erosión tanto hídrica como eólica; de igual manera la FAO (2006) añade que el rebaño intensivo provoca daños en el suelo a gran escala, con cerca del 20% de los pastizales degradados a causa del sobrepastoreo, la compactación y la erosión; reduciendo de esta manera la utilidad, la productividad y la biodiversidad de la vida microbiana.

Por lo anterior, la respiración del suelo se ha convertido en uno de los muchos eventos centrales de los cambios ecológicos globales, debido a su papel controversial en los procesos de calentamiento global (Giardina & Ryan 2000), ya que contribuye a determinar si un ecosistema dado se comporta como fuente de carbono o sumidero del mismo (Jassal *et al.*, 2007).

La estimación de la respiración del suelo da una idea de la dinámica de su biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos que en él se desarrollan; estos procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente, (Mora *et al.*, 2006). Además, se ha considerado que puede ser usado como un indicador ecológico sensible a los cambios ambientales, (Acosta *et al.*, 2006; Peña 2004), señalan que estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo.

Dentro de los estudios realizados en actividad microbiana se importante tener en cuenta los propuestos por Sánchez de Prager *et al.*, (2006), quienes evaluaron la actividad y biomasa microbiana como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivos de maracuyá en el Valle del Cauca, Colombia, donde el objetivo fue evaluar la relación entre materia orgánica del suelo, actividad y biomasa microbiana. Se evaluaron 3 sistemas de cultivo de maracuyá (agroecológico A, transición T, convencional C) a dos profundidades. La mayor actividad microbiana ocurrió en A que varió significativamente de T y muy significativamente de C y dentro del mismo manejo no se estimaron variaciones

significativas debidas a la profundidad del muestreo y se indicó, que estos resultados pueden relacionarse con los contenidos de materia orgánica en el suelo y la presencia de oxígeno asegurado por la macro porosidad, donde los valores más altos se presentaron en el sistema agroecológico.

En el año 2014 Di Ciocco *et al.*, evaluaron la actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas, donde los distintos usos de un mismo suelo presentaron diferencias en la actividad microbiológica y la respiración edáfica fue significativamente mayor en los pastizales naturalizados que en los sistemas con agricultura. También otros autores como Sadeghian *et al.*, (2000), evaluaron el impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia y evaluaron tres sistemas ganaderos (ganadería intensiva productora de leche con alta carga, ganadería intensiva productora de carne con alta carga y ganadería extensiva con baja carga), tomando como testigo el bosque nativo que se presentaba en la zona, obteniendo como resultados que el bosque nativo presentó mayor cantidad de actividad microbiana, seguido de ganadería extensiva con baja carga, ganadería intensiva de producción de carne y por último ganadería intensiva con alta carga de producción de leche, se pudo analizar que entre los tres sistemas ganaderos no se encontraron diferencias significativas en cuanto a actividad microbiana, sin embargo la actividad microbiana promedio presentada en los tres sistemas ganaderos fue un 40 % menor en relación a los bosques nativos, y se estima que su efecto pudo ser por la compactación y el bajo contenido de humedad y baja porosidad, densidad aparente y bajos contenidos de materia orgánica presente en estos suelos.

La presente investigación se realizó con el propósito de evaluar el efecto de tres diferentes usos del suelo presentes en un sistema de producción ganadero, en las poblaciones microbianas presentes en suelos, la investigación se realizó en el corregimiento de Catambuco municipio de Pasto, y plantea como hipótesis la influencia de los diferentes usos del suelo así como sus prácticas de manejo asociadas en la actividad microbiana, esto debido a que los usos del suelo influyen directamente sobre la actividad y poblaciones microbianas (Sylvia *et al.*, 2005).

La actividad microbiana en un sistema silvopastoril, pasturas limpias y el bosque, se realizó a partir de la cuantificación del CO₂ liberado en la respiración del suelo medida por medio de la metodología propuesta por Burbano *et al.*, 2002, y la cuantificación de biomasa microbiana mediante la metodología de fumigación extracción, propuesta por (Vance *et al.*, 1987).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización.

El trabajo se desarrolló en la finca el Rincón, localizada en la vereda Cruz de amarillo perteneciente al corregimiento de Catambuco localizado al Sur-oriental del municipio de Pasto, a una altura de 2800 msnm, con una temperatura promedio de 12°C y una precipitación de 703 mm (IDEAM, 2017), localizada entre las coordenadas 1.17104,-77.30332 Latitud y longitud. (Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores, 2011). La finca el Rincón se encuentra en la zona de vida Bosque Húmedo Montano (bh-M), posee un relieve montañoso y volcánico representado principalmente por altas pendientes y por vertientes bien formadas (IGAC, 2004). La fase de laboratorio se desarrolló en los laboratorios de suelos y fisiología vegetal del campus principal de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Pasto, departamento de Nariño a una altura de 2527 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 12°C, ubicada geográficamente localizado a 1°14'03"LN y 77°17'07"LO.

Estos suelos se clasifican como Pachic Melanudans dentro del orden de los andisoles, en concordancia con lo reportado en el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño (IGAC, 2004). Se caracterizaron por presentar una textura franco arenoso, pH moderadamente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, altos contenidos de carbono orgánico, medianos contenidos de calcio, magnesio y potasio, y bajos contenidos de fósforo. Presentan altos contenidos de materia orgánica, los Pachic Melanudands son los suelos que tienen más de 6,0% de carbón orgánico y colores del epipedón mólico a través de un horizonte de 50cm o más de espesor (IGAC, 2004)

2.2 Diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental irrestrictamente al azar (DIA) en arreglo factorial tres por dos por tres (3x2x3) (tres usos, dos profundidades, tres repeticiones) (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción diseño experimental utilizado.

Factor	Niveles	Tratamientos	
		Tratamiento No.	Interacción (Uso * Profundidad)
Usos del suelo	Pastura	1	Pastura de 0-10 cm
	SSP	2	Pastura de 10-20 cm
	Bosque	3	SSP de 0-10 cm
Profundidad de muestreo	0-10 cm	4	SSP de 10-20 cm
	10-20 cm	5	Bosque de 0-10 cm
		6	Bosque de 10-20 cm

Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de dos factores de la siguiente manera:

Factor a = usos de suelo: Este factor contó con tres niveles representados en los siguientes usos del suelo: (1: pastura, 2: sistema silvopastoril, 3: bosque) (Figura 1).



Figura 1. Mapa de campo donde se observan los diferentes usos del suelo presentes en la finca. Fuente: Rosero (2018).

USO 1. Lote con pastura tradicional de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. Ex Chiov.) Morrone, área de 2000 m². Este uso tiene una edad aproximada de 30 años, sobre el cual se realizan prácticas de manejo agroecológicas como la aplicación de biopreparados y organismos eficientes. Los animales se rotan por la pastura cada 40 días.

USO 2. Este uso ocupa un área de 3,33 ha, con una edad aproximada de 12 años, se caracteriza por presentar un arreglo silvopastoril de plantación en línea de árboles Aliso (*Alnus acuminata* Kunt) y pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. Ex Chiov.) Morrone.), en este uso solo realiza rotación de pastoreo.

USO 3. Bosque natural secundario producto de la regeneración natural y siembra de aliso (*A. acuminata*), Este uso ocupa un área de 5,57 ha, con una edad aproximada de 50 años,

Factor b = profundidad de muestreo: Este factor contó con dos niveles, los cuales están representados en dos profundidades para la toma de muestras de suelo: 0-10cm y de 10-20cm.

2.3 Muestreo de suelos.

Con la ayuda de un barreno se tomaron tres muestras compuestas de suelo para cada uso (provenientes de 15 submuestras al azar) a dos profundidades, de 0-10 y de 10-20 cm. Las muestras fueron utilizadas tanto para la caracterización física y química como para la determinación de respiración y biomasa microbiana, las muestras fueron analizadas en los laboratorios de suelos y fisiología vegetal del campus principal de la Universidad de Nariño

2.4 Análisis físico y químico de suelos.

Los análisis físicos y químicos de suelos se determinaron de acuerdo con las metodologías implementadas por los laboratorios de suelos de la Universidad de Nariño (Tabla 2).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas evaluadas y métodos utilizados.

Propiedades químicas		Propiedades físicas	
Análisis	Método	Análisis	Método
pH	NTC 5264	Humedad gravimétrica (0,01 Bar) saturación	Mesa de tensión
Materia orgánica	Walkley and Black method, 1934 - NTC 5403		
Fósforo disponible	Bray II and Kurtz, 1945 - NTC 5350	Humedad gravimétrica (0,35 Bar) Capacidad de campo	Membrana de presión
Capacidad de Intercambio Cationico CIC	CH ₃ COONH ₄ 1NPH7 - NTC 5268		
Calcio de cambio	CH ₃ COONH ₄ 1NPH7, NTC 5268 - NTC 5349	Humedad gravimétrica (14 Bar) Punto de marchitez permanente	Membrana de presión
Magnesio de cambio			
Potasio de Cambio		Textura	Bouyoucos
Aluminio de Cambio	Extracción KCL 1N - NTC 5404		
Hierro disponible	DTPA - NTC 5526	Densidad aparente (Da)	Método del cilindro
Manganeso disponible		Densidad real (Dr)	Picnómetro
Cobre disponible		Porosidad total	Calculado a partir de la Da y la Dr
Zinc disponible			
Boro disponible	Agua caliente - NTC 5404	Estabilidad estructural	Yoder, 1936
Nitrógeno total	Con base en la materia orgánica		
Carbono orgánico	Walkley and Black method, 1934 - NTC 5402	Distribución de agregados	Test Sieve Shaker
Azufre disponible	(Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O) 0,008M - NTC 5402		

Fuente: (Rosero, 2018).

2.5 Respiración del suelo

Se siguió la metodología recomendada por Burbano *et al* (2002): Se pesaron 10g de suelo tamizado y se introdujeron en tubos de ensayo de 25ml. Se adicionó agua para llevar el

suelo a capacidad de campo. En un vial que va dentro de cada uno de los tubos de ensayo, 0,2g de BaO_2 y 2 gotas de $\text{Ba}(\text{OH})_2$, se agitó el vial para que los compuestos se adhieran uniformemente a las paredes de este.

Se depositó el vial sobre el suelo que se encontraba en el tubo de ensayo y de inmediato se procedió a taparlo.

2.6 Medida de CO_2

Se determinó el CO_2 al concluir cada periodo de incubación (7 días). Se retiró el vial del tubo de ensayo y se lo colocó en el frasco del calcímetro junto con un tubo plástico que contiene 5 ml de HCl 2N. Se enrasó a cero la columna del calcímetro. Se agitó el frasco del calcímetro, para que se pongan en contacto el vial donde se formará BaCO_3 y el HCl , con el fin de conseguir el desprendimiento del CO_2 .

Se leyó los milímetros que el líquido desplazo en la columna del calcímetro por la presión del CO_2 desprendido. Se multiplico los milímetros de la lectura anterior por el factor de conversión para las condiciones del calcímetro y del laboratorio, a fin de expresar los resultados finalmente, en términos de $\text{mg}^{-1}\text{CO}_2/10\text{g}^{-1}$ suelo.

2.7 Cuantificación de la biomasa microbiana

Se pesaron 10g de suelo (control) en un Erlenmeyer de 250 ml, se adicionan 50ml de K_2SO_4 (0,5M), se agitó 30min y se filtró con un papel Whatman 42. También se pesó 10g de suelo (fumigado) en un beaker de 40ml, se fumigó con cloroformo libre de etanol, se incubó durante 24h a 25°C . Del extracto obtenido se colocó 8ml en tubos de digestión (3 repeticiones control y 3 fumigado), se adiciono 2ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (66,7mmM), 70mg de HgO y 15ml de mezcla ácida (2v H_2SO_4 (98%) y 1v H_3PO_4 88%). Las muestras se dejaron a 150°C por 30 minutos y se dejaron enfriar. Se transfirieron a un Erlenmeyer de 250ml, se adiciono 80ml de agua destilada, se agregó 3 gotas de fenontralina y se valoró el exceso de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ con sal de Morh 33,3mM $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$.

2.8 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un Análisis de Varianza, con el fin de describir las tendencias de los tratamientos, posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey para determinar el tratamiento con mayor y menor respiración y biomasa microbiana. El software estadístico que se usó fue InfoStat versión estudiantil, en el cual se generaron programaciones distintas para las variables evaluadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Respiración del suelo (medida de CO₂)

En la prueba de análisis de varianza (Tabla 3) se encontró diferencias altamente significativas para profundidades, uso del suelo así como para la interacción entre usos x profundidades, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3. Análisis de varianza para respiración del suelo.

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2450,4	5	490,08	261,56	<0,0001**
PROFUNDIDAD	474,56	1	474,56	253,27	<0,0001**
USO	905,4	2	452,7	241,61	<0,0001**
USO*PROF.	882,56	2	441,28	235,51	<0,0001**
Error	86,19	46	1,87		
Total	2536,6	51			

** diferencias altamente significativas

La prueba de comparación de medias de tukey para la interacción uso*profundidad con una probabilidad del 95% encontró que el bosque a profundidad de 10cm presentó el mayor promedio de respiración microbiana (18,95 mg⁻¹CO₂/10g⁻¹ suelo) mientras que el SSP a profundidad 20cm presentó la menor respiración microbiana (0,72 mg⁻¹CO₂/10g⁻¹ suelo)

(Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de comparación de medias de Tukey para la interacción profundidad*uso del suelo en respiración microbiana.

Uso	Profundidad	Medias
Bosque	10 cm	18,95 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo A
SSP	10 cm	0,95 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo B
Bosque	20 cm	0,85 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo B
Pastura	10 cm	0,74 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo B
Pastura	20 cm	0,74 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo B
SSP	20 cm	0,72 mg ⁻¹ CO ₂ /10g ⁻¹ suelo B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)		

Según XU *et al.* (2001) las variaciones de respiración de suelo están muy influenciadas por cambios en las variables ambientales, principalmente humedad y temperatura de suelo, así como por otro tipo de variables como la materia orgánica del suelo, biomasa microbiana y estados fenológico de las especies; esto se relaciona con los resultados encontrados en esta investigación donde el Bosque a 10cm presenta 12,7% de MO, 77,99% de humedad y el mejor promedio en respiración microbiana (18,95 mgCO₂/10g de suelo), esto puede ser explicado por la alta cantidad y biodiversidad de especies arbóreas que logran regular la temperatura de este sistema, acondicionando un mejor microclima para distintos microorganismos edáfico (Gómez, 2002)

Según Álvarez & Anzueto (2004), la respiración microbiana es mayor en bosques por su alto contenido de materia orgánica y proliferación de microorganismos, donde existe una gran dinámica por el funcionamiento de estos pero a su vez un equilibrio del sistema; esta afirmación respalda los resultados encontrados en esta investigación donde la mayor respiración microbiana se presenta en el bosque.

Los resultados obtenidos en el sistema silvopastoril a una profundidad de 10cm (0,95mgCO₂/10g de suelo) son contrarios respecto a lo reportado por Cast (2002), quien

encontró que la fertilidad del suelo, cantidad de materia orgánica, estructura de los agregados y biodiversidad edáfica, fue más alta en 18 sistemas que incluyen árboles (SAF), estos resultados estaban influenciados principalmente por la cantidad de hojarasca y penetración que hacen las raíces hacia las partes más profundas del suelo, según el mismo autor estos sistemas brindan una mejor condición de vida y hábitat para los microorganismos que intervienen en la respiración del suelo permitiendo una alta variabilidad de especies, proliferación, adaptación y supervivencia de ellos, generando así mayor respiración microbiana. Fenómeno que coincide con lo reportado por Martínez y Meneses (2012), quienes mencionan que la respiración microbiana, también se encuentra estrechamente relacionada con la profundidad del suelo, donde la tasa de respiración es mayor a profundidades de 0-10cm, debido principalmente a la alta actividad microbiana en esta superficie. Según Banegas *et al.* (2007), ello podría estar relacionado con una intensa actividad biológica, en dicha profundidad 10 cm, la cual es producto de un sistema radical, y una gran concentración de microorganismos adaptados en la rizosfera. Además, las raíces liberan compuestos orgánicos (Jones *et al.*, 2004), específicos para cada especie y cultivar vegetal lo cual aumenta la actividad microbiana (Singh *et al.*, 2007).

Los promedios inferiores encontrados en el sistema silvopastoril pueden estar relacionados con la inexistencia de prácticas agroforestales en este uso, debido a que si bien el sistema silvopastoril incluye dentro de sus estructura principal arboles fijadores de nitrógeno no se realizan prácticas de incorporación de hojarasca; por otra parte es importante acotar que por estar ubicado en la zona plana de la finca, este uso presenta condiciones de humedad por encima de los demás usos evaluados situación que puede estar influenciando la actividad microbiana.

Es importante resaltar que una alta tasa de respiración microbiana no necesariamente significa un resultado positivo, ya que si el sistema evaluado no tiene un aporte adecuado de nutrientes, puede ocurrir pérdida de C que lleve a un empobrecimiento del mismo (Atlas y Bartha 2002).

3.2 Biomasa microbiana

El análisis de varianza encontró diferencias altamente significativas para profundidades, usos del suelo y la interacción usos*profundidades, con un nivel de confianza del 95% (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza para biomasa microbiana.

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo.	530449,09	5	106089,82	62,27	<0,0001**
USO	213999,3	2	106999,65	62,8	<0,0001**
PROFUNDIDAD	25630,94	1	25630,94	15,04	0,0013*
USO*PROF.	400126,74	2	200063,37	117,43	<0,0001**
Error	27259,68	16	1703,73		
Total	557708,77	21			

*Diferencias significativas, ** diferencias altamente significativas

La prueba de comparación de medias de tukey para la interacción entre uso*profundidad con una probabilidad del 95% encontró que el bosque a una profundidad de 10cm presentó el mayor promedio en cuanto a biomasa microbiana ($1791,96\mu\text{gC}/10\text{g}$ de suelo), mientras que los menores promedios se presentaron en el SSP a una profundidad de 10cm ($1177,20\mu\text{gC}/10\text{g}$ de suelo) (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de comparación de medias de Tukey para Interacción entre profundidad*uso, medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Uso	Profundidad	Medias
Bosque	10 cm	$1791,96 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo A
SSP	20 cm	$1608,84 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo B
Pastura	20 cm	$1464,96 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo C
Bosque	20 cm	$1447,52 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo C
Pastura	10 cm	$1321,08 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo D
SSP	10 cm	$1177,20 \mu\text{g}^{-1}\text{C}/10\text{g}^{-1}$ suelo E

Los resultados obtenidos se respaldan por lo mencionado por Castro (1995) que determinó que la biomasa microbiana en suelos sometidos a cultivos se redujo significativamente en relación con los suelos bajo cobertura boscosa. Según Durango *et al.*, (2014) el suelo del bosque presenta una biomasa microbiana estadísticamente superior a los agro ecosistemas.

Por su parte Raich (1993); Fujita y Yanagisawa (1999) indican que el comportamiento de las raíces finas de las especies vegetales con respecto a la profundidad se caracteriza principalmente por la alta concentración de biomasa microbiana en los primeros centímetros del suelo, disminuyendo gradualmente conforme aumenta la profundidad. Así mismo, Alfaro *et al.* (2001), mencionan que la concentración de la biomasa microbiana se localiza prioritariamente en los primeros superficie del suelo, debido principalmente a la alta tasa de actividad microbiana y a la acumulación de nutrimentos en estas capas superficiales.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo encontrado por Birkeland (1984) quien afirma que el bosque deposita y acumula la mayor parte de residuos en la superficie, lo cual influye en el incremento de MO y la biodiversidad de microorganismos, generando índices más altos de biomasa microbiana. Por el contrario los promedios inferiores de BM en el SSP pueden estar relacionados con la baja biodiversidad de especies, el poco manejo realizado en el sistema (podas de árboles, incorporación de materia seca) y por falta de fertilización. Además es posible que la biomasa microbiana en este uso esté representada en un mayor porcentaje por nitrógeno de biomasa microbiana, gracias a la acción simbiótica del aliso con el actinomiceto del género *Frankia* para para la fijación de nitrógeno atmosférico, y que por esta razón se presenten valores inferiores de carbono de la biomasa microbiana hacia donde se enfocó esta investigación.

Es importante destacar lo mencionado por Cairo *et al.* (2008), quienes encontraron que al evaluar el efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica, estos sistemas incrementaron los niveles de la MO y la diversidad de organismos, para este caso se realizó n manejo de 8 años seguidos tiempo durante el cual se realizó incorporaciones constantes

de biomasa, abonos verdes y abonos orgánicos.

Por otra parte Nair (1993) señala que los sistemas silvopastoriles, contribuyen a mejorar la productividad del suelo y por ende favorecer el estrato herbáceo, MO y biomasa microbiana.

Díaz *et al.* (2003) señalan que en sistemas silvopastoriles, la acumulación de hojarasca así como la incorporación al suelo de restos de gramíneas, leguminosas y estiércol influyen decisivamente sobre el contenido de la MO y su calidad en el perfil, esto genera una mayor cantidad de microorganismos y por ende la biomasa microbiana va a ser mucho mayor en este tipo de sistemas.

4. CONCLUSIONES

La biomasa y respiración microbiana fueron mayores en el bosque frente a las pasturas limpias y a los SAF.

Los resultados sugieren que factores como materia orgánica, humedad y estructura favorecen las condiciones de vida de los microorganismos lo cual a su vez genera una mayor biomasa y respiración microbiana.

Promedios altos de respiración microbiana no garantizan buena calidad de suelo, puesto que si los sistemas no tienen un aporte constante de nutrientes los microorganismos no tienen la capacidad de almacenar carbono, llevando así a una notable disminución de carbono en los sistemas.

5. RECOMENDACIONES

Para aumentar los beneficios de los sistemas silvopastoriles sobre el suelo, se recomienda la diversificación de especies en el sistema que logren la incorporación de materia orgánica y que permitan a los microorganismos consumir diferentes fuentes de energía.

Se recomienda realizar un manejo adecuado constante a los sistemas silvopastoriles como podas, fertilizaciones, incorporación de materia orgánica, etc. para mejorar el equilibrio, contribuir a la fertilidad y conservación en sistemas de producción ganadero.

Se recomienda no incrementar la capacidad de carga del hato ganadero en una mínima superficie de suelo para minimizar la perdida de porosidad, ni utilizar mecanización alguna para evitar la degradación, así se mantiene la micro biota del suelo en equilibrio sin alteraciones algunas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. & Paolini, J. (2006). Dinámica de la Biomasa Microbiana en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. Universidad del Zulia, Punto Fijo, Venezuela.
- Alfaro, E., Alvarado, A. & Chavarri, A. (2001). Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de bosque tropical seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 25:7-19.
- Álvarez J., Anzueto M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. 38(1): 13-22.
- Atlas, R. & Bartha, R. (2002). Ecología microbiana y microbiología ambiental. 2ª ed. Trad. Español. Madrid: Addison Wesley. 677p.
- Baker, C. & Saxton, K. (2008). Siembra con Labranza Cero en la Agricultura de Conservación. Zaragoza, España: ACRIBA-FAO. 391p.
- Banegas, N, Albanesi, A.; Pedraza, R; Nasca, J, Toranzos, M. (2007). Determinación de fracciones de carbono edáfico en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán, Argentina. Cusco, Perú: APPA – ALPA. 6p.
- Birkeland, P. (1984). Soils and geomorphology. Revised edition of pedology, weathering and geomorphological research, first published in 1974. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Brussaard, L.; De Ruiter, P. C. & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 121(3): 233-244.
- Burbano, H., Unigarro, A. & Coral, D. (2002). Estudio de la calidad del suelo. Pasto: Universidad de Nariño, Departamento de Biología. Línea de Investigación en Biodiversidad.
- Cairo, P., Vargas, S., Díaz, B., Nodal, E., Torres, P., Jiménez, R., Dávila, A., Rodríguez, O. & Rodríguez, A. (2008). Influencia del manejo de los suelos Pardos Sialíticos sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas bajo condiciones de producción ganadera y agrícola. En: Memorias II Taller Nacional de fertilidad de los suelos de la ganadería. Departamento de Pastos y Forrajes. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
- Cast. (2002). Environmental impacts of livestock on US. *Grazing Lands*. Council for agricultural science and Technology. 2:16p.
- Castro L. (1995). Efecto del uso agrícola y el barbecho sobre los contenidos de biomasa microbiana de Ultisoles y Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 19(2): 59-65

Di Ciocco, C, Sandler, Rosana V, Lilian B & Coviella C. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(1): 73 -85.

Díaz, M., Cairo, P., Morales, M., Rodríguez, O. & Abreu, I. (2003). Influencia de diferentes sistemas de manejo de la materia orgánica sobre la fertilidad del suelo pardo con carbonatos (Inceptisol) centro de investigaciones agropecuarias. Villa clara: Universidad central “Marta Abreu” de las Villas. CITMA, Centro agrícola, N°. 3.

Durango, W., Uribe, L., Henríquez, C., Mata, R. (2014). “Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en turrialba, Costa Rica”. *Agronomía Costarricense*. 39(1): 37-46.

FAO - Food And Agriculture Organization. (2006). Propiedades biológicas del suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/>.

Fernández L., Rojas N., Roldan T., Ramírez M., Zegarra H., Uribe R., Reyes R., Flores D. & Arce, J. (2006). Manual de Técnicas de Análisis de Suelos Aplicadas a la Remediación de Sitios Contaminados. México. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmquist, T., Gunderson, L., Holling, C. S. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 35: 557-581.

Fujita, N., Yanagisawa, N. (1999). Different distribution patterns of woody species on a slope in relation to vertical root distribution and dynamics of soil moisture profiles. *Ecological Research*, 14(2), 165-177.

Giardina, C. & Ryan, G. (2000). Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature. *Nature* 404: 858.

Gómez, V. (2002). “Micrometeorología de masas forestales de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.). La vertiente norte del sistema central (Montes de Valsain, Segovia). Consecuencias selvícolas.” Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Recuperada de <http://oa.upm.es/159>

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017. Monitoreo de la deforestación en (2015). Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono SMBYC. Recuperada de http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias//asset_publisher/96oXgZAhhRhJ/content/la-cifra-de-deforestacion-en-Colombia-2015-reporta-1-24-035-hectareas-afectada.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). Estudio General de suelos y zonificación de tierras. Recuperado de: <https://www.igac.gov.co/es/ide/contenido/2004>.

Jassal, R., Black, T., Morgenstern, Z., Gauymont-Guay & Nesic, Z. (2007). Components of ecosystems respiration and an estimate of net primary productivity of an intermediate-aged Douglas-Fir stand. *Agric. For. Meteorol.* 144: 44-57.

Jones, D., Hodge, A., Kuzyakov, Y. (2004). Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New phytologist*, 163(3), 459-480.

Lozano, M., Aguilera, C., Pérez, I., Serey, T. 2002. Actividad Respiratoria en el horizonte orgánico de suelos de ecosistemas forestales del centro y sur de Chile. *Gayana Bot.* 63: 1-12

Martínez, M. & Meneses C. (2012). Fraccionamiento físico de la materia orgánica bajo diferentes usos del suelo en un typic fulvudand. Recuperado de: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/85209.pdf>

Mora, J.R. (2006). La actividad microbiana: Un indicador integral de la Calidad del suelo. *Revista Luna Azul*. Universidad de Caldas. *Revista Luna Azul*, 4(5-6), 69-81.

Nair, R. (1993). Introduction to Agroforestry. Dordrecht, Kluwer. 534 p. Recuperada de: http://www.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32_An_introduction_to_agroforestry.pdf?n=161.

Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J. & Segura, A. (2004). Importancia de los Microorganismos en la Calidad y Salud de Suelos (Importance of Microorganisms for Soils Quality and Health). Laboratorio de Bioquímica, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Raich, J. (1993). Fine roots regrow rapidly after forest felling. *Biotropica*, 12(3), 231-232.

Rosero, J. (2018). Actividad microbiana del suelo en un sistema de producción ganadero alto andino del sur de Colombia, Tesis de Maestría. Universidad de Nariño. 112 p.

Sánchez De Prager, M., Rojas, A., Perez, J., Zuñiga, O., Gasco, J. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 55(4).

Sadeghian, S., Rivera, J., Gomez, M. (2000). Impactos de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los andes colombianos. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. FAO-CIPAV, Cali, Colombia, 77-95.

Singh, B., Munro, S., Potts, J. Y Millard, P. (2007). Influence of grass species and soil type

on rhizosphere microbial community structure in grassland soils. *Applied Soil Ecology*, 36(2-3), 147-155.

Sylvia, D., Harter, P., Fuhrmann, J. & Zuberer, D. (2005). Principles and applications of soil microbiology. 2 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 640 p. ISBN 0-13-094117-4.

Thrupp, L. (2000). Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International affairs*, 76(2), 265-281.

Vance, E., Brookes, P., Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*, 19(6), 703-707.

Wright S., Islam K. (2006). Microbial biomass measurement methods, pp. 1067-1070. Encyclopedia of Soil Science, Second Edition. Taylor and Francis Group, New York.

Xu, M. & Qi, Y. (2001). Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Glob. Global Change Biology*, 7(6), 667-677.

Zárate, Z. & Ramírez E. (2004). Metodología estadística para la interpretación de datos sobre degradación de la tierra. Chapingo, estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo-UACH. 120 p.